

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНО-КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ОЧИСНИКА

Гевко Р.Б., доцент, к.т.н. (ТАНГ),
Павх І.І., інженер (ТДПУ),
Гладь Ю.Б., доцент, к.т.н., (ТДТУ)
Ткаченко І.Г., к.т.н. (ТДТУ)

У статті наведені результати теоретичного аналізу впливу конструктивних і кінематичних параметрів коливних стрічкових транспортерів коренезбиральних машин на ступінь очищення коренеплодів цукрових буряків. Виведені аналітичні залежності, що дозволяють встановити час перекочування коренеплодів по прутках полотна і швидкість ударної взаємодії коренеплодів зі скребками від амплітуди та частоти коливань полотна, а також кута його нахилу та умов транспортування.

Агровимоги, які висуваються до якості виконання технологічного процесу коренезбиральними машинами, потребують інтенсивних пошуків як нових конкурентноздатних конструктивних схем робочих органів і їх поєднань в компоновальні рішення, так і досліджень, спрямованих на визначення оптимальних параметрів процесів викопування, сепарації та транспортування коренеплодів.

Пошук нових технологій і конструкцій робочих органів направлений на виконання базових показників агровимог (згідно [1] втрати, пошкодження, забрудненість коренеплодів) в першу чергу повинен ґрунтуватись на простоті прийнятих рішень, забезпеченні високої надійності функціонування технологічних вузлів, при задовільному виконанні технологічного процесу коренезбиральною машиною в широких ґрунтово-кліматичних умовах.

Підвищити якісні показники роботи бурякозбиральних машин можна шляхом доочищення вороху коренеплодів при його переміщенні в руслі стрічкових транспортерів, на полотні яких закріплені скребки. Для цього коренеплодам при їх повздовжньому транспортуванні необхідно надати пульсуючий рух між групами скреbkів в напрямку, паралельному переміщенню полотна.

Цього можна досягнути, якщо в привід ведучого барабана стрічкового транспортера ввести високоенергомісткий пружний елемент. Тоді транспортуєме полотно з ворохом коренеплодів або ведений барабан необхідно періодично гальмувати, що призведе до накопичення енергії деформації пружного елемента. При знятті зусилля опору, під дією вивільненої енергії, полотно транспортера входить в коливний рух, що призведе до розсосередження вороху коренеплодів по прутках полотна. Вказані коливання забезпечать відрив

коренеплодів від скребків полотна транспортера та їх вільне переміщення по поверхні поперечних прутків і, відповідно, доочищення від грудок ґрунту і рослинних залишків.

Розглянемо процес переміщення коренеплодів за допомогою транспортера з полотном, яке здійснює поздовжні коливання. Нехай рівняння руху полотна, яке задається кінематично за допомогою спеціальних пристроїв, записується у вигляді коливного процесу:

$$X = -A \cos \gamma t, \quad (1)$$

де A - амплітуда коливань полотна; γ - циклічна частота коливань; t - час.

Знак мінус записаний у формулі для того, щоб показати початкову фазу коливання.

Продиференціювавши це рівняння отримаємо вирази для швидкості та прискорення полотна транспортера:

$$v = \dot{X} = A \gamma \sin \gamma t, \quad (2)$$

$$a = \ddot{X} = A \gamma^2 \cos \gamma t. \quad (3)$$

Процес руху коренеплоду складається з двох етапів: сумісного руху коренеплоду і транспортера до відриву від скребка, та руху коренеплоду по поверхні транспортера після відриву від скребка.

Варіанти розташування коренеплодів на полотні і зусилля, що на них діють зображені на рис.1.

Рівняння руху коренеплода, з врахуванням сили тертя, на цьому етапі матимуть вигляд:

$$\begin{cases} N_1 - mg \cos \alpha = 0; \\ mX = N_2 - mg \sin \alpha - mgf \cos \alpha. \end{cases} \quad (4)$$

Визначимо силу N_2 , яка характеризує тиск скребка на коренеплід. Від'ємне значення сили означатиме відрив коренеплода від поверхні скребка, тобто закінчення першого етапу.

$$N_2 = m(A \gamma^2 \cos \gamma t + g(\sin \alpha + f \cos \alpha)) \geq 0. \quad (5)$$

Час до відриву t_1 визначиться з рівняння (5), прирівняного до нуля:

$$t_1 = \frac{\arccos \left[\frac{-g(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{A \gamma^2} \right]}{\gamma}. \quad (6)$$

В цей момент визначаємо швидкість і положення коренеплода та транспортера:

$$\begin{cases} v_1 = A \gamma \sin \gamma t_1; \\ x_1 = -A \cos \gamma t_1. \end{cases} \quad (7)$$

На другому етапі руху (після відриву) рух коренеплода описується рівнянням:

$$m\ddot{y} = -mg \sin \alpha \pm mgf \cos \alpha, \quad (8)$$

де знак «+» береться для випадку зустрічного взаємного руху коренеплода та транспортера, а знак «-» у протилежному випадку.

Швидкість руху коренеплода після відриву $u = \dot{y}$ визначаємо шляхом інтегрування рівняння (8) по часу:

$$u = g(-\sin \alpha \pm f \cos \alpha)(t - t_1) + u_0, \quad (9)$$

де t — час від початку процесу коливання; t_1 — час початку етапу руху.

Під час руху кількість змін напрямку взаємного руху може бути достатньо великою, що особливо стосується підвищених частот коливань системи. У випадку реально існуючих частот 2..5 Гц за період руху відбудеться лише одна зміна напрямку. Кожна зміна напрямку взаємного руху відбувається в момент, коли швидкості коренеплода та полотна транспортера рівні $v = u$.

Для визначення часу, коли швидкості змінюють знак, прирівняємо відповідні вирази:

$$A \gamma \sin \gamma t = g(-\sin \alpha \pm f \cos \alpha)(t - t_1) + u_0. \quad (10)$$

Розв'язок цього трансцендентного рівняння здійснюємо числовим методом за допомогою ЕОМ і визначаємо час t_2 , коли змінюється напрям взаємного руху. Внаслідок нерозривності процесу руху кінцеві параметри руху на попередньому етапі стають початковими на наступному.

$$\begin{cases} u_{i+1}(0) = u_i(t_i) = g(-\sin \alpha \pm f \cos \alpha)(t_i - t_{i-1}) + u_i(0); \\ y_{i+1}(0) = y_i(t_i) = g(-\sin \alpha \pm f \cos \alpha) \frac{(t_i - t_{i-1})^2}{2} + u_i(0)(t_i - t_{i-1}) + y_i(0). \end{cases} \quad (11)$$

Процес продовжується доти, поки координати скребка і коренеплода не стануть на i -му етапі рівними, тобто відбудеться контакт між коренеплодом та скребком. У цей момент $t = t_{y\partial}$, а швидкість їх взаємодії рівна $v_{y\partial} = u - v$ і суттєво впливає як на процес очищення, так і пошкодження коренеплодів.

$$v_{y\partial} = g(-\sin \alpha \pm f \cos \alpha)(t_{y\partial} - t_i) + u_i(0) - A \gamma \sin \gamma t_{y\partial}. \quad (12)$$

Одним з важливих моментів, які необхідно враховувати при дослідженні таких процесів сепарації і транспортування коренеплодів є варіант, коли коренеплід голівкою розташовується між суміжними прутками, що зображено на рис.1. В першу чергу нас буде цікавити, яке мінімально допустиме зусилля F необхідно прикласти до коренеплода, щоб він вискочив із заглибини, утвореної двома прутками полотна.

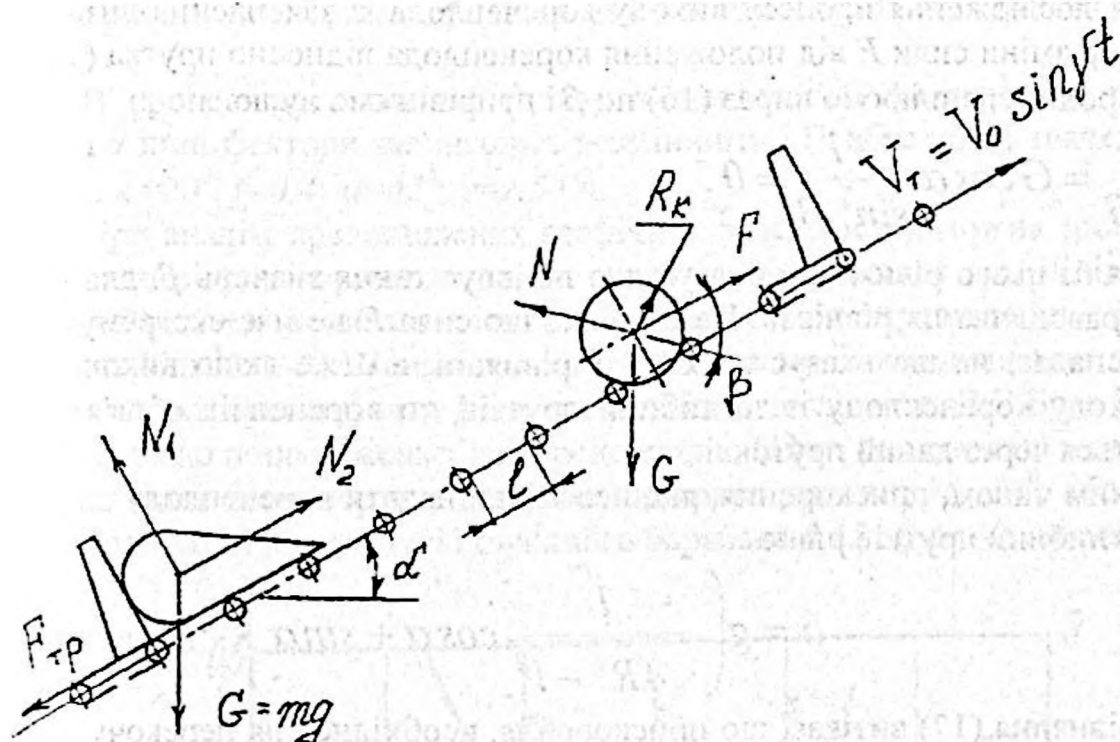


Рис.1. Варіанти розташування корнеплодів на полотні

В цьому випадку умова рівноваги корнеплоду (корнеплід не контактує з нижнім прутком) має вигляд

$$F - N \cos \beta - G \sin \alpha = 0, \quad (13)$$

де $\cos \beta = l / 2R$.

Таким чином, умова перекочування корнеплоду через пруток має вигляд

$$F_{\min} = \frac{Nl}{2R} + G \sin \alpha. \quad (14)$$

З іншого боку $N \sin \beta = G \cos \alpha$, звідки

$$N = \frac{G \cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (15)$$

Тоді

$$F_{\min} = G \left(\frac{l \cos \alpha}{2R \sqrt{1 - \frac{l^2}{4R^2}}} + \sin \alpha \right) = G \left(\frac{l \cos \alpha}{\sqrt{4R^2 - l^2}} + \sin \alpha \right); \quad (16)$$

$$F_{\min} = G (\cos \alpha \operatorname{ctg} \beta + \sin \alpha).$$

Для дослідження процесу виходу коренеплода із зачеплення визначимо характер зміни сили F від положення коренеплода відносно прутка (змінна кута β). Продиференціюємо вираз (16) по β і прирівняємо нулю

$$\frac{dF}{d\beta} = G \cos \alpha \frac{-1}{\sin^2 \beta} = 0.$$

Аналіз цього рівняння показує, що не існує таких значень β , для яких була б справедлива ця рівність. Це означає, що сила F не має екстремуму, а весь час спадає, на що вказує знак "-" у рівнянні, а отже якщо виконалась умова виходу коренеплоду із заглибини прутків, то коренеплід обов'язково перекотиться через даний пруток.

Таким чином, прискорення, яке необхідно надати коренеплоду для виходу із заглибини прутків рівне

$$a = g \left(\frac{l}{\sqrt{4R^2 - l^2}} \cos \alpha + \sin \alpha \right). \quad (17)$$

З рівняння (17) витікає, що прискорення, необхідне для перекошування коренеплода через пруток аналогічне обчисленому із рівняння (8) для випадку

проковзування з коефіцієнтом сухого тертя $f_T = \frac{l}{\sqrt{4R^2 - l^2}}$. Далі процес

переміщення коренеплода відрізняється від випадку, коли коефіцієнт тертя є стабільним. При перекошуванні коренеплоду складова $\text{ctg} \beta$ зменшується і це еквівалентно зменшенню сили тертя. Мінімальне переміщення коренеплоду ΔX повинно бути таким, щоб його центр мас розташувався над прутком транспортера

$$\Delta X = \frac{R \cos(\alpha - \beta)}{\cos \alpha} = R(\sin \beta - \cos \beta \text{tg} \alpha). \quad (18)$$

Отже, можна зробити висновок, що в режимі, коли відбувається відрив коренеплоду від скребка і його перекошування по поверхні полотна, розрахунки можна проводити для випадку f_T еквівалентного, при якому переміщення коренеплоду ΔX було б не менше розрахункового.

Для аналізу процесу транспортування та визначення кінематичних параметрів руху коренеплодів по прутках полотна на основі приведеної математичної моделі розроблена програма для розрахунку та оптимізації конструктивних і технологічних параметрів технологічного процесу транспортування і очищення коренеплодів. Проаналізовано вплив таких незалежних параметрів як частоти коливань γ , кута нахилу транспортера α , коефіцієнта тертя f та амплітуди коливань A на величину відриву коренеплодів від поверхні скребка X_{\max} , час перекошування коренеплодів по поверхні скребка t та швидкість v ударної взаємодії коренеплода зі скребком полот-

на. Результати досліджень представлені у вигляді графічних залежностей на рис. 2-5.

В процесі дослідження впливу вищеназваних факторів на значення X_{max} ; t і v інші фактори залишались незмінними і їх абсолютні значення становили: $A=20^\circ$; $f=0,4$; $\alpha=45^\circ$; $\gamma=2,5$ Гц.

При аналізі представлених графічних залежностей можна зробити висновок, що відрив коренеплодів від скребоків відбувається при мінімальній кутовій амплітуді коливань рівний 13° (рис.2). При перевищенні амплітуди коливань більше 24° . Швидкість повторної взаємодії коренеплодів зі скребками починає перевищувати $1,5$ м/с, а це згідно досліджень В.В.Брея [2] може призводити до пошкоджень тіла коренеплодів. Отже, раціональні межі амплітуди коливань транспортера доцільно вибирати рівними $16...24^\circ$, або в лінійних координатах при радіусі привідного барабана $0,15$ м, $A=40...60$ мм.

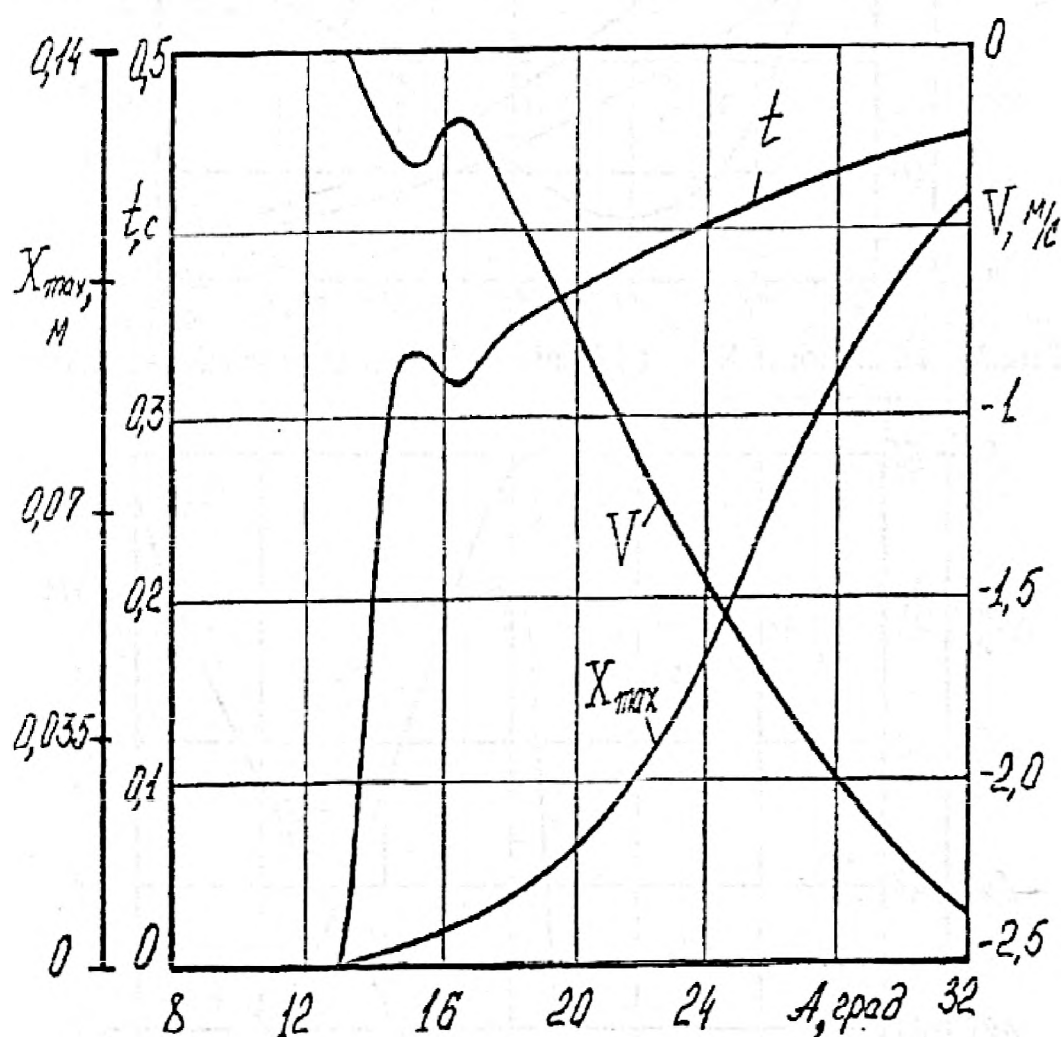


Рис.2. Залежності X_{max} , t і V від кутової амплітуди коливань полотна

Кути нахилу полотна транспортера до горизонту в межах до 45° призводять до суттєвих швидкостей взаємодії коренеплодів з скребками, які становлять $1,55...1,75$ м/с (рис.3). При застосуванні низьконахилених полотен доцільно зменшувати кутову амплітуду коливань полотна.

Відрив коренеплідів від скребків при частоті коливань полотна нижче 1,8 Гц не відбувається (рис.4), а при перевищенні 2,6 Гц можливі пошкодження коренеплідів. Тому раціональні межі частоти коливань 2...2,25 Гц. Низькі коефіцієнти тертя (рис.5) 0,2...0,4 (вологі умови роботи) можуть призводити до значних ударних взаємодій коренів зі скребками (1,6...2,0 м/с), тому частота і амплітуда коливань повинні регулюватись пружними пристроями приводу барабана транспортера і моментом спрацювання стопора полотна.

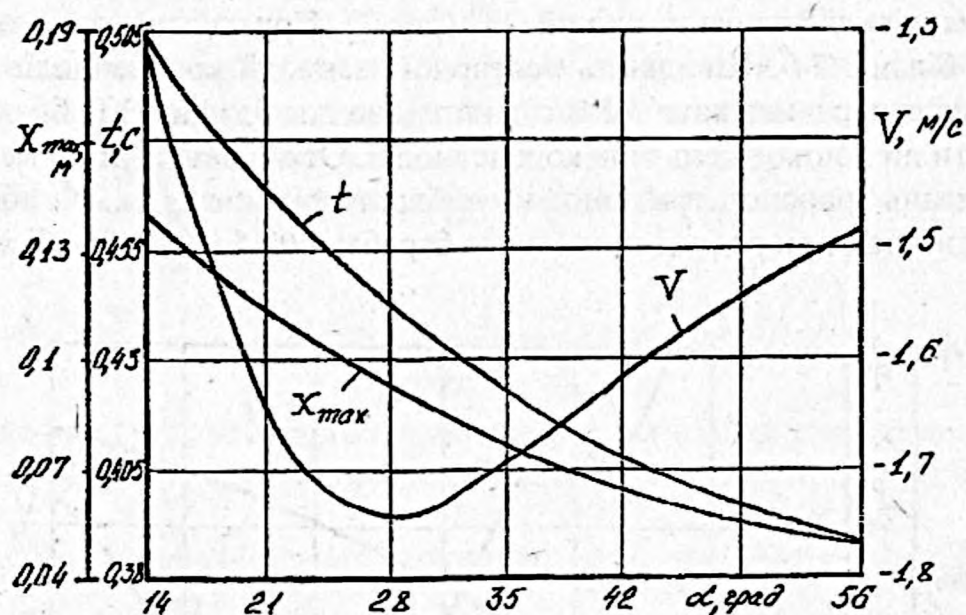


Рис.3. Залежності X_{max} , t і V від кута нахилу скребкового полотна до горизонту

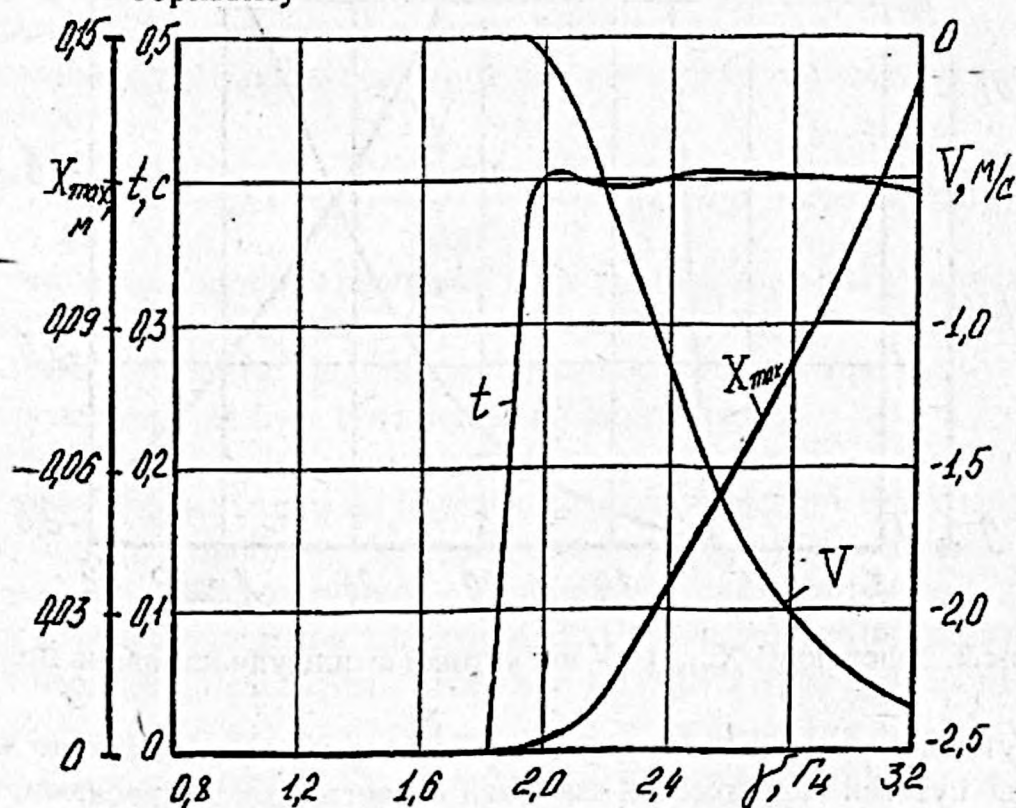


Рис.4. Залежності X_{max} , t і V від частоти коливань полотна

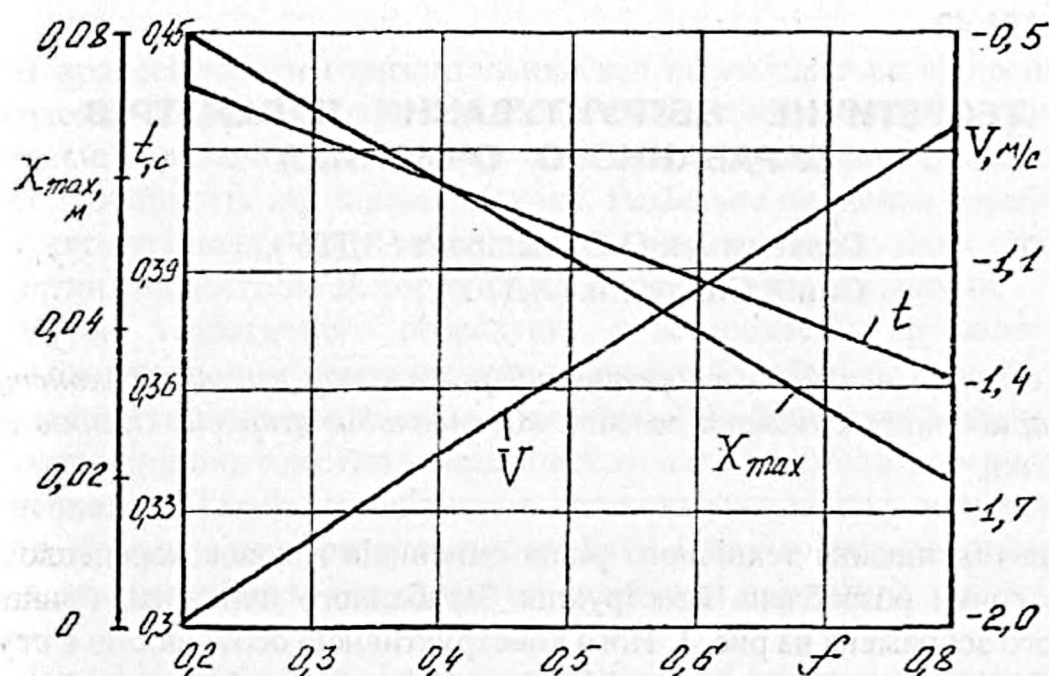


Рис.5. Залежності від коефіцієнта тертя пари коренеплід-полотно X_{max} , t і V

Вище наведені розрахунки і аналіз отриманих результатів дозволяє правильно підібрати параметри технологічного процесу переміщення з одночасною сепарацією вороху коренеплідів в руслі стрічкових транспортерів з пульсуючою швидкістю скребкового полотна.

Література

1. ДСТУ 2258 – 93. Машины бурякозбиральні. – К.: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
2. Брей В.В. Исследование и разработка механизированного процесса извлечения из почвы корней сахарной свеклы: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.20.04.-К., 1972.-32 с.